



VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI ADEGUATEZZA SISMICA
DELLE SEDI DI SERVIZIO DEL CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO

LOTTO 7 - PUGLIA / LOTTO 10 - SICILIA

RESPONSABILE
 UNICO DEL
 PROCEDIMENTO
 Dott. Ing. Massimo Di Paolo

DIRETTORE
 PER L'ESECUZIONE
 DEL CONTRATTO
 LOTTO 10 - SICILIA
 Dott. Ing. Aldo Comella

ATI:



Responsabile dell'integrazione delle prestazioni specialistiche:

Dott. Ing.
 Andrea Lucarelli

Progettisti

Ing. A. Dal Cerro
 Ing. E. Perrotta

Collaboratori

ing. Andrea Falletta
 ing. Daniele Lombardo
 ing. Massimo Palermo

LOTTO 10 - SICILIA

CARTELLA 03 **INDAGINI**
PIANO DI INDAGINI **GEOFISICHE**
RAPPORTO DI PROVA

OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
00	RG	RG02	03	0

CARTELLA	N. GEN. ELAB.	FILE NAME	NOTE	PROT.	SCALA
03	019	00RGRG02_030_4183	1=1 A4	4183	-
5					
4					
3					
2					
1					
0	EMISSIONE			20/03/2012	COCO PERROTTA LUCARELLI
REV.	DESCRIZIONE			DATA	REDDATO VERIFICATO APPROVATO

Il presente progetto è il frutto del lavoro dei professionisti associati in Politecnica. A termine di legge tutti i diritti sono riservati.
 E' vietata la riproduzione in qualsiasi forma senza autorizzazione di POLITECNICA Soc. Coop.
 Politecnica aderisce al progetto Impatto Zero di Lifegate.
 Le emissioni di CO2 di questo progetto sono compensate con la creazione di nuove foreste.

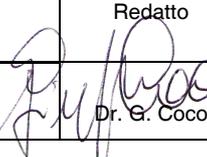
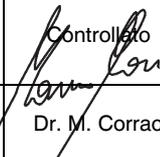
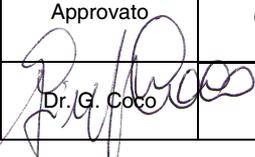
COMANDO PROVINCIALE VV.F. RAGUSA
 VIALE DEI PLATANI, 2

SITO
12

PROVE GEOFISICHE RELATIVE ALLA VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI ADEGUATEZZA SISMICA DELLE SEDI DI SERVIZIO DEL CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO – LOTTO 10 SICILIA –

COMANDO PROVINCIALE DEI VIGILI DEL FUOCO DI RAGUSA

RAPPORTO TECNICO DI PROVA PROVE SISMICHE COMBinate PASSIVA-ATTIVA E MISURA DEL MICROTREMORE SISMICO

REV.	Data e località	Committente	Redatto	Controllato	Approvato	COMM.-JOB:
0	06/2011 Ragusa	POLITECNICA Architettura ed Ingegneria	 Dr. G. Coco	 Dr. M. Corrao	 Dr. G. Coco	IG_101/RG

IL PRESENTE DOCUMENTO E' PROPRIETA' GEOCHECK S.r.l. A TERMINE DI LEGGE OGNI DIRITTO E' RISERVATO

INDICE

pag.

INTRODUZIONE	3
2-0 METODO DELLE ONDE SUPERFICIALI	4
<i>MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)</i>	4
<i>- Metodo delle onde superficiali - Prove Passive geometria Lineare</i>	6
2.1 - ACQUISIZIONE DEI DATI	7
<i>Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata.</i>	7
2.2 ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI.	8
<i>Stima della curva di dispersione dai dati attivi</i>	8
<i>Stima della curva di dispersione dai dati passivi.</i>	10
<i>Inversione della curva di dispersione attivi/passiva</i>	11
2.3 - <i>RISULTATI PROVE COMBinate PASSIVA/ATTIVA - MASW (Multichannel array surface wave)-</i> <i>SITO_RAGUSA</i>	12
3.0 - RISPOSTA SISMICA DEL SITO HVSR (Horizontal/vertical spectral ratio)	14
3.1 <i>Descrizione del metodo</i>	14
3.2 <i>-Acquisizione ed elaborazione dati</i>	15
3.1 CRITERI PER LA INTERPRETAZIONE DELLA CURVA H/V E RISULTATI	17
4.0 CONCLUSIONI	19

INTRODUZIONE

Le prove geofisiche oggetto del presente rapporto hanno riguardato la valutazione della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali e la valutazione della risposta sismica locale dell'area su cui insiste il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco di Ragusa. Tali prove sono state eseguite nell'ambito degli studi volti alla "VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI ADEGUATEZZA SISMICA DELLE SEDI DI SERVIZIO DEL CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO – LOTTO 10 SICILIA –". Per il caso oggetto di studio sono state eseguite indagini basate sulla propagazione di onde superficiali di Rayleigh (surface wave method – SWM) di tipo attivo (MASW), di tipo passivo con array lineare (microtremori).



Fig. 1 Foto Cantiere- Linea sismica onde superficiali di Rayleigh – Allineamento attivo e passivo Punto di misura microtremore

2-0 METODO DELLE ONDE SUPERFICIALI

MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

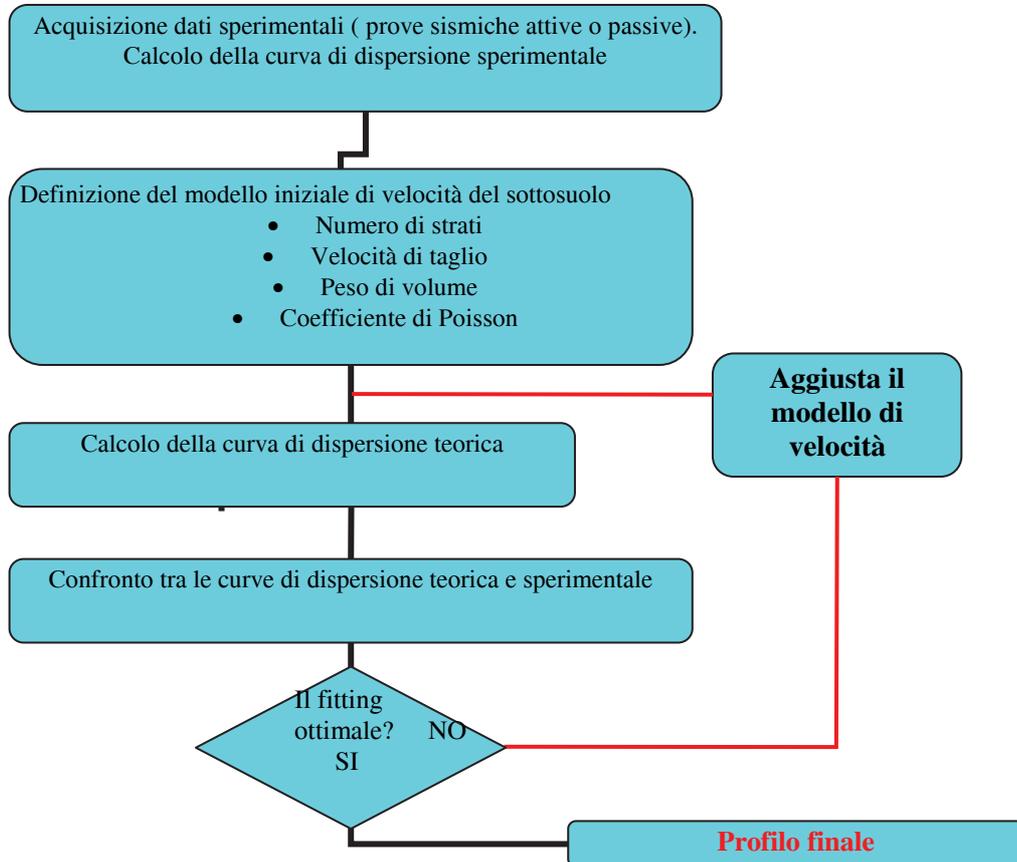
Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza. Quindi, nel caso di un mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma diverse velocità di fase in corrispondenza delle diverse frequenze: tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione. Alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità. La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni, infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e può essere utilizzata per un processo inverso avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

Il processo di calcolo delle onde di superficie attiva può essere ricondotto in quattro fasi:

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali registrate ai diversi sensori nel dominio frequenza f – numero d'onda K
- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie f - k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano V_{fase} (m/sec) – frequenza (Hz)
- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p , la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo
- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale

e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo

Di seguito si riporta un diagramma di flusso riepilogative delle procedure di calcolo



- Metodo delle onde superficiali - Prove Passive geometria Lineare

Tali misurazioni sono in linea di principio analoghe alle prove per onde di Rayleigh con sorgente attiva descritte nel precedente paragrafo. L'unica differenza è costituita dalla procedura di stima della curva di dispersione sperimentale. Infatti, le misure sismiche passive non necessitano di una sorgente artificiale di onde sismiche ma sono basate sulla registrazione del rumore ambientale, che consiste in vibrazioni del terreno indotte da attività antropiche (come il traffico, il rumore derivante da macchinari industriali, ecc.), o da fenomeni naturali; tali vibrazioni del terreno prendono il nome di microtrempi. Il vantaggio principale delle tecniche passive, rispetto a quelle attive, è costituito dalla possibilità di ottenere informazioni relative alla propagazione di onde a bassa frequenza e quindi di estendere le informazioni estraibili dalla curva di dispersione a profondità elevate. L'integrazione di dati ottenuti con misure attive e passive consente, in linea teorica, di estendere l'intervallo di frequenza in cui è possibile stimare la curva di dispersione e, di conseguenza, di incrementare la profondità d'indagine raggiungibile senza perdere le informazioni di maggior dettaglio sugli strati superficiali. Tale procedura è stata adottata per le indagini eseguite e viene più in dettaglio descritta nel seguito.

2.1 - ACQUISIZIONE DEI DATI

Di seguito si descrivono la strumentazione e le modalità di acquisizione dati.

Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata.

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale M.A.E. A6000S, avente le seguenti caratteristiche tecniche :

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00003 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del “tempo zero” (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- “Automatic Gain Control”
- convertitore A/D a 24 bit
- 24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;
- Mezzo meccanico cingolato pesante.

La configurazione spaziale in sito, condizionata dalla logistica, per la prova attiva è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea". In particolare è stato utilizzato il seguente setup:

- 24 geofoni con interspazio (G_x) di 2 metri;
- n. 2 energizzazioni in A/R ad offset (S_x) pari a G_x e G_x*2
- passo di campionatura pari a 1000 Hz;
- lunghezza delle tracce sismiche pari a 4.096 sec.

Le prove passive sono state eseguite lungo lo stesso allineamento delle prove attive, mantenendo lo stesso numero di sensori e la stessa spaziatura. Per ogni sito di misura sono state eseguiti due transetti sismici ortogonali. Per ciascun transetto sono state registrate 5 serie temporali passive e nr 2 registrazioni attive in A/R.

Le curve combinate attiva/passive di ciascun sito sono il risultato della dispersione media delle misure passive e dalla combinazione delle curve attive eseguite nelle due direzioni.

2. 2 ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI.

Nel seguito vengono descritte le modalità di elaborazione e di interpretazione dei dati acquisiti.

Stima della curva di dispersione dai dati attivi

Le serie temporali (Figura 1) vengono trasformate in dominio f-k (frequenza f – numero d’onda k) tramite una doppia trasformata di Fourier e la curva di dispersione è ricavata con la ricerca coppie f-k cui corrispondono i massimi spettrali d’energia (Figura 2): per ogni frequenza f il picco spettrale è associato ad un determinato valore del numero d’onda k, che attraverso la (1) consentono di risalire alla curva di dispersione (Figura 3) delle onde di Rayleigh nel piano V_{fase} (m/sec) – frequenza (Hz).

$$V_R(\omega) = \frac{2\pi f}{k_{MAX}} \quad (1)$$

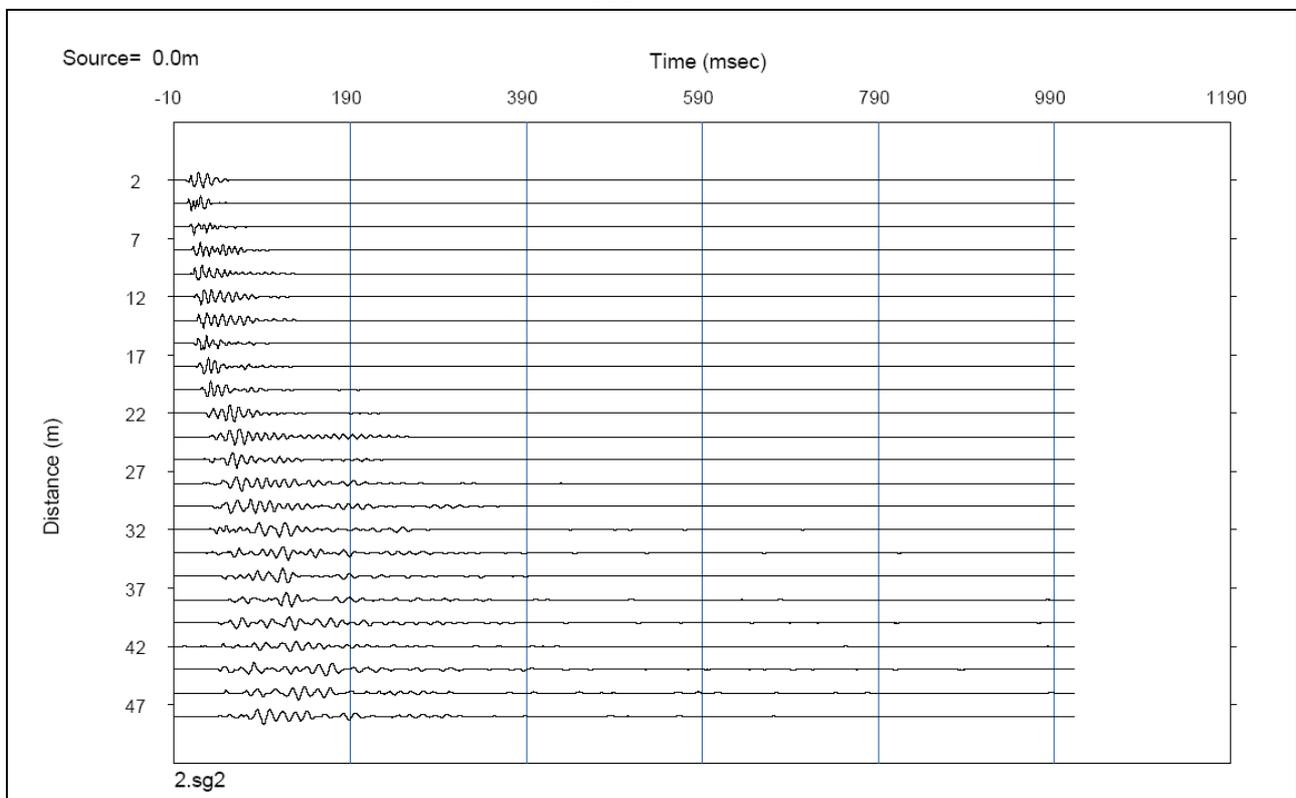


Figura 1 Serie temporali prova MASW. offset 2 metri.

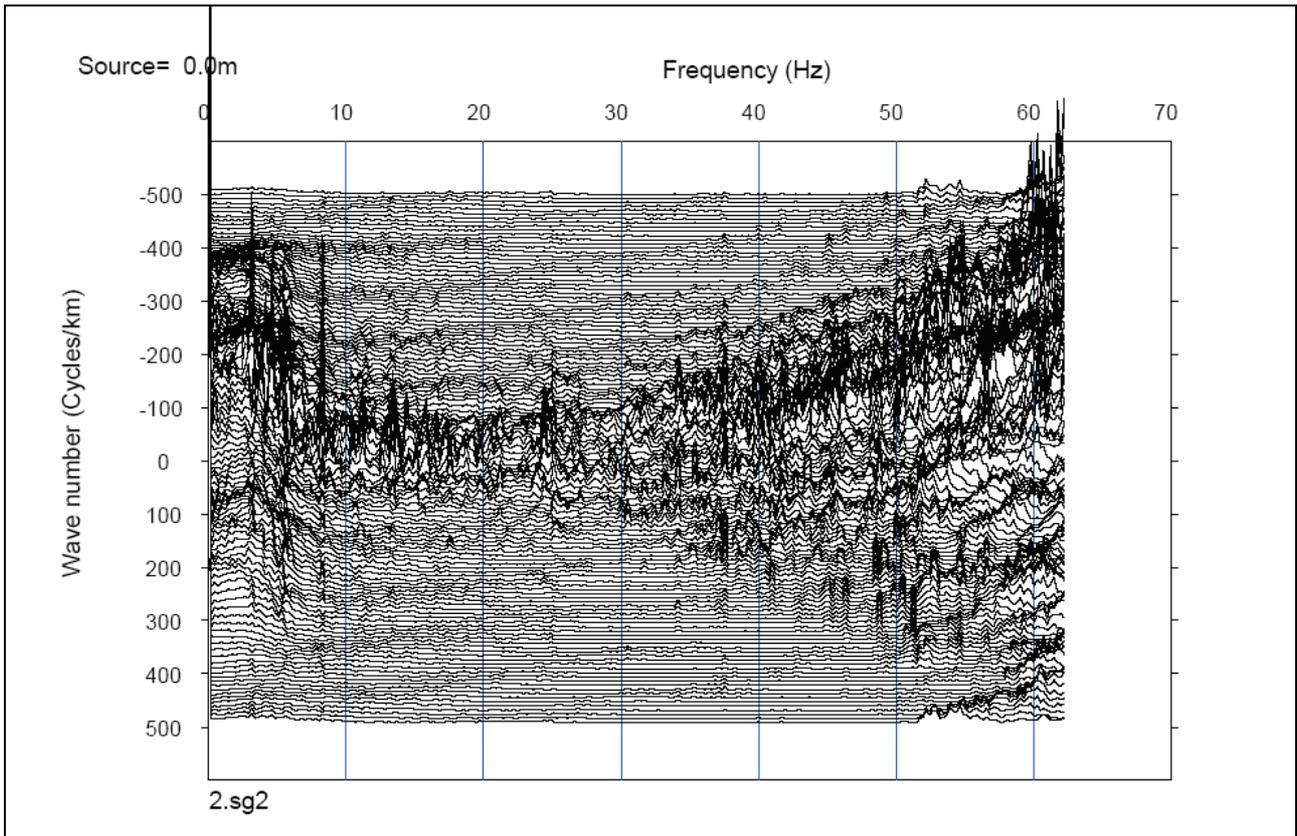


Figura 2 Analisi dominio f-k.

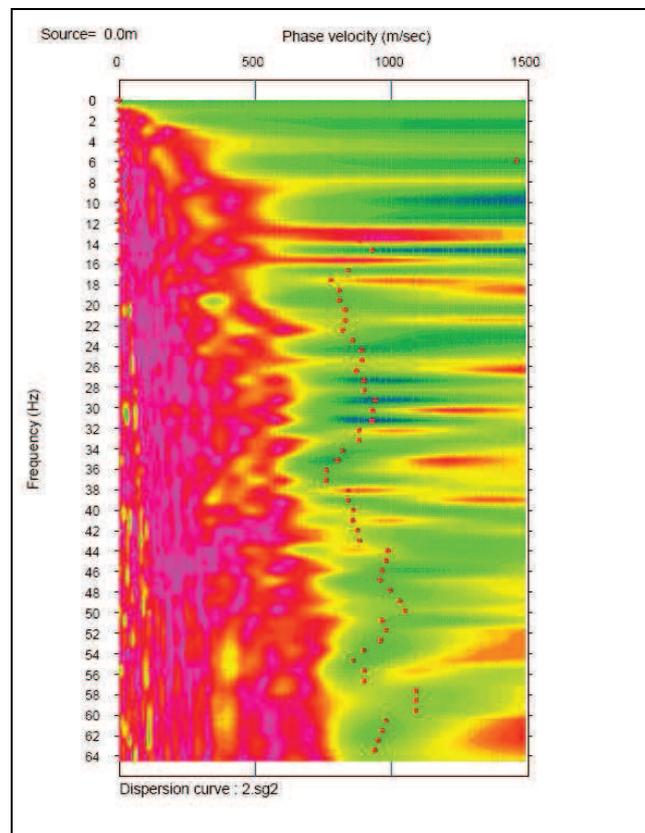


Figura 3 - Curva di dispersione sismica attiva prova 1.

Stima della curva di dispersione dai dati passivi.

La prova passiva lineare è una tecnica che consiste registrazione simultanea di più ricevitori (min. 24) del rumore sismico ambientale. L'elaborazione dei dati prevede la separazione dei modi che costituiscono il campo vibratorio del rumore sismico ambientale (microtremori Figura 4), quest'ultimo costituito, prevalentemente, da onde superficiali.

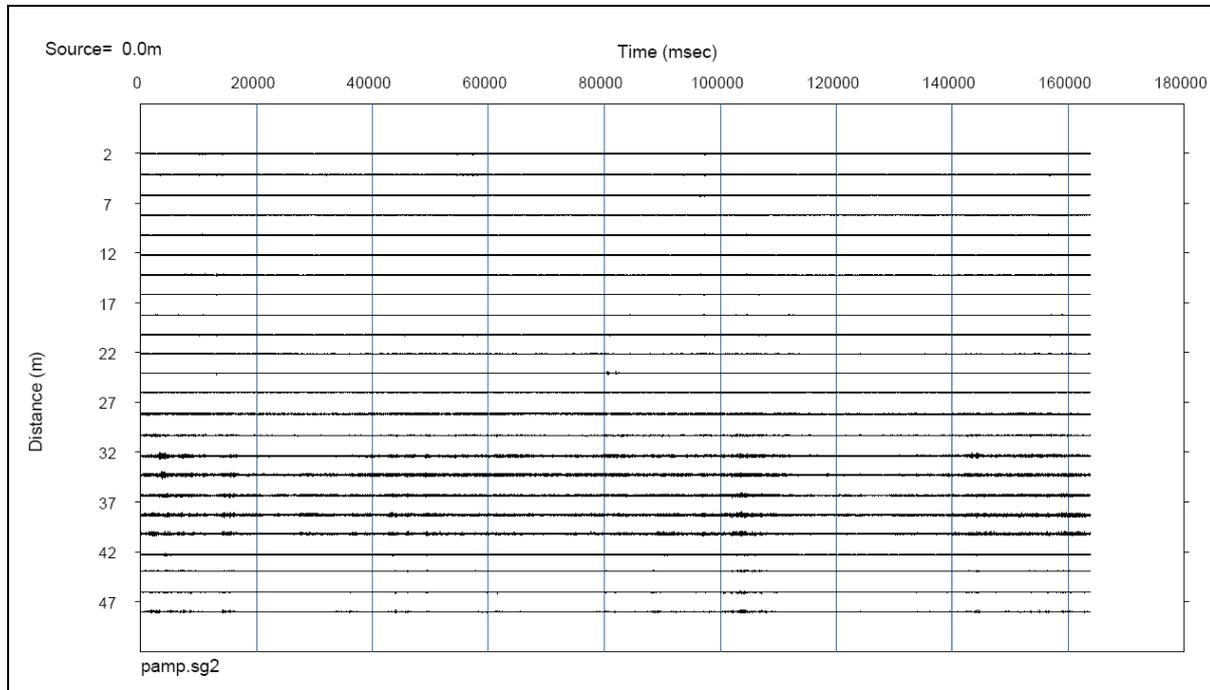


Figura 4 Serie temporali prova passiva

I segnali sismici registrati secondo le procedure prima descritte vengono analizzati nei domini f-k (frequenza-numero d'onda) o p-f (lentezza-frequenza), al fine di calcolare la curva di dispersione delle onde di Rayleigh sperimentale, successivamente elaborata nel processo d'inversione(Figura 5).

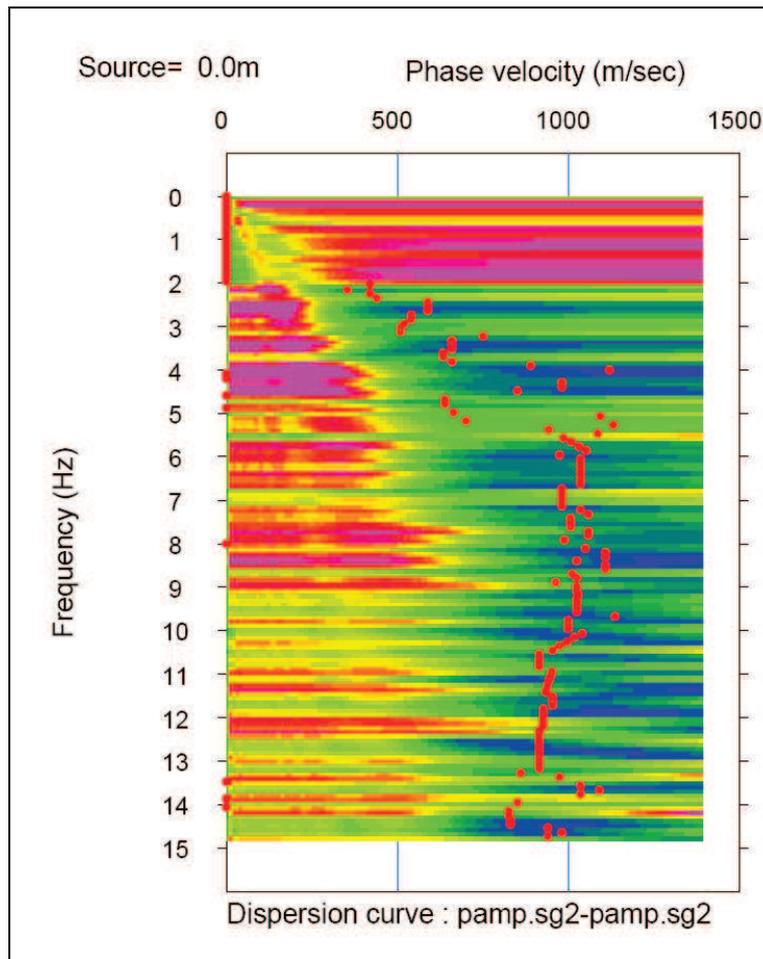


Figura 5 - Curva di dispersione prova passiva.

Inversione della curva di dispersione attivi/passiva

Il processo d'inversione consiste nel calcolare la curva di dispersione teorica partendo dal modello geologico del sottosuolo. Tale modello risulta costituito da strati paiano-paralleli ciascuno di essi parametrizzato in termini di spessore (H), di velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s), peso di volume ρ e coefficiente di Poisson.. E' un calcolo iterativo, cioè si parte da un modello iniziale di velocità di taglio che viene di volta in volta modificato fino a quando la curva di dispersione sperimentale e quella teorica raggiungono una sovrapposizione ottimale.

Quindi, riassumendo, le fasi che consentono di passare dalla curva di dispersione delle onde di Rayleigh al profilo di velocità delle onde di taglio sono:

1. definizione del modello iniziale di velocità;
2. calcolo della curva teorica di dispersione;
3. Calcolo del profilo finale di velocità.

**2.3 - RISULTATI PROVE COMBinate PASSIVA/ATTIVA - MASW (Multichannel array surface wave)-
SITO RAGUSA**

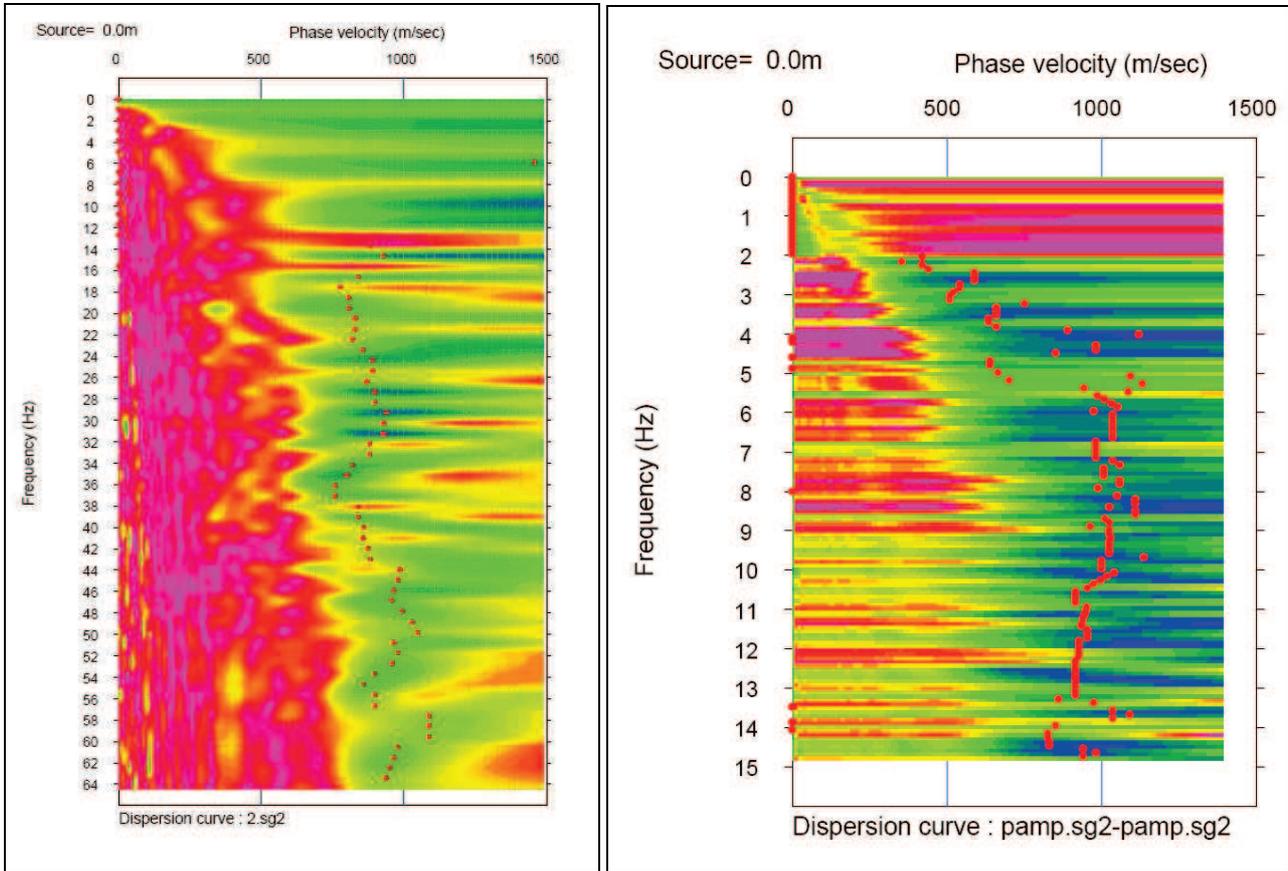


Figura 6 - Curva di dispersione attiva e passiva .

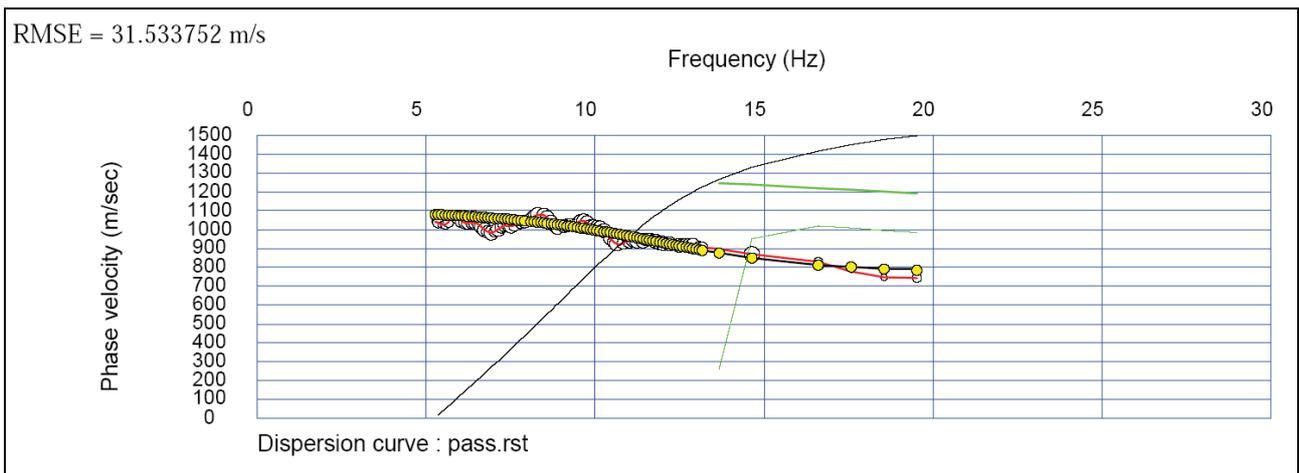


Figura 7 – Confronto tra V-fase sperimentale (Curva rossa) e V-fase teorica

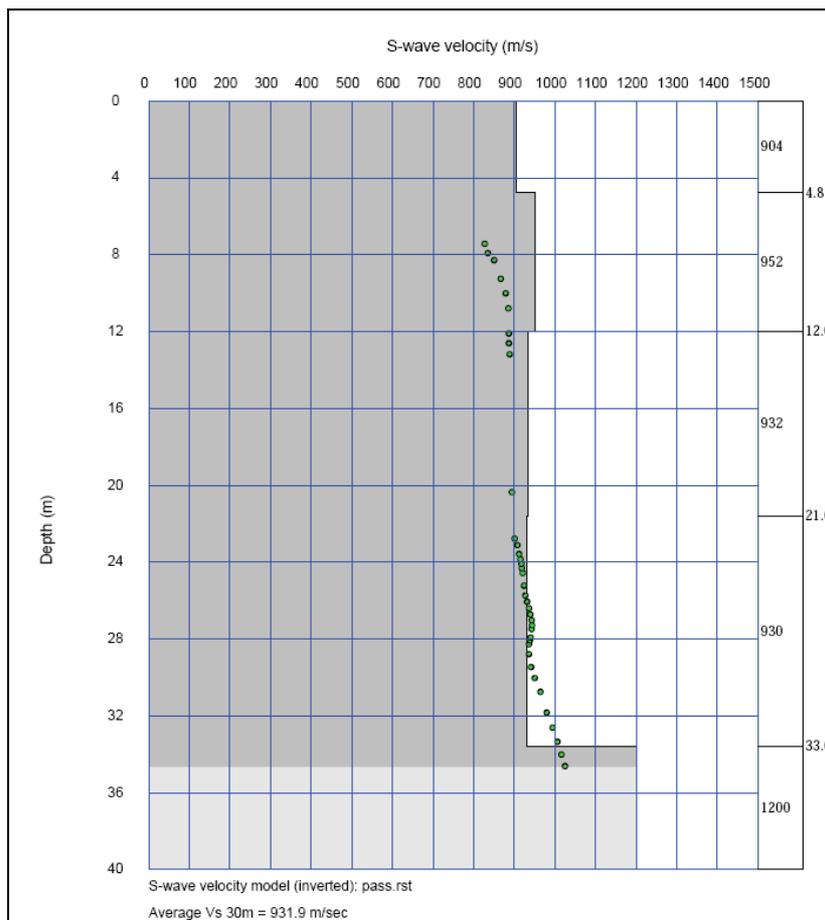


Figura 8 - Modello finale di velocità.

Sismostrato	Profondità (m)	Spessore30 -h - (m-)	Vs (m/s)	h/Vs (sec)	V _{s30} (m/s)
1	0.00	4.80	904.018	0.0053	931.87
2	4.80	7.20	952.395	0.0076	
3	12.00	9.60	932.364	0.0103	
4	21.60	8.40	930.506	0.0090	
5	33.60		1200.74		

La curva di dispersione combinata (pallini verdi) corrisponde al modo fondamentale dell'onda superficiale Rayleigh (Fig. 7), mentre la profondità di investigazione è stata di 35.8 metri. Il profilo di velocità mostra che la Vs si mantiene pressoché costante dalla superficie fino a 33.6 metri di profondità (Vs media 929.8 ± 19.8), laddove si registra un aumento della velocità di propagazione delle onde di taglio che passa da 930 m/sec a 1200 m/sec.

Il valore del VS30, calcolato a partire dal p.c., risulta pari 931.87 m/sec.

3.0 - RISPOSTA SISMICA DEL SITO HVSR (Horizontal/vertical spectral ratio)¹

Il comportamento dei siti conseguentemente ad un input sismico è inteso in termini di differente energia e/o diversa distribuzione in frequenza della stessa a causa degli effetti di amplificazione o attenuazione selettiva di determinate frequenze (risposta in frequenza del sito). Tale azione selettiva è funzione delle caratteristiche fisiche - geometriche (litologici e strutturali) dei mezzi attraversati da un'onda sismica.

In genere i terreni rigidi presentano curve spettrali H/V (terreni rocciosi o terreni sedimentari compatti) poco amplificate e con risposte centrate nella banda "audio - frequency" ($f > 20$ Hz) legate allo stato di alterazione superficiale del sito roccioso², mentre le curve spettrali H/V relative ai terreni soffici sono caratterizzate da amplificazioni a frequenze < 10 Hz e con livelli di ampiezza legati al contrasto di impedenza sismica. Nel presente lavoro la valutazione della risposta sismica del sito è stata esaminata attraverso il campionamento di "microtremori" al fine di quantizzare, tramite analisi dei rapporti spettrali tra la componente orizzontale e verticale del moto del suolo, gli effetti di amplificazione sismica locale.

3.1 Descrizione del metodo

La tesi di partenza si basa sul fatto che l'energia dei microtremori consiste principalmente in onde di Rayleigh, e che l'effetto di amplificazione del sito è legato al contrasto di rigidità tra due mezzi attraversati dall'onda sismica. Recentemente è stato dimostrato [Per una rassegna si veda Bard, 1999], che i rapporti spettrali H/V utilizzati con misure di microtremore, mostrano una significativa coerenza con le forme di spettri H/V calcolati mediante registrazioni di terremoti.

In accordo con quanto descritto sugli effetti di sito [Nakamura, 1989; Lachet & Bard, 1994; Lermo & Chàvez-García, 1994], in questo lavoro è stata applicata la tecnica dei rapporti spettrali

¹ L'elaborazione dei dati è stata eseguita tramite codici di calcolo SAC sviluppati per ambiente LINUX
BARD P.Y. (1999). Microtremor measurements: a tool for site effect estimation? in *The Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Irikura, Kudo, Okada and Sasatani (eds), Balkema Rotterdam, 1251-1279.
CRANSWICK E., 1988. The information content of high-frequency seismograms and the near-surface geologic structure of hard-rock recording sites. *Pageoph* 128, 333-363.
IRIKURA K. AND KAWANAKA T.: Characteristics of microtremors on ground with discontinuous underground structure; *Bull. Disaster Prev. Inst., Kyoto Univ.*, 30, 81-96 – 1980.
LACHET, C & BARD P-Y (1994). Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique. *J. Phys. Earth*, 42, 377-397, 1994.
LERMO J. & CHÀVEZ-GARCÍA F. : Are microtremor Useful in Site Response Evaluation ?. *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 5, 1350-1364, Oct. 1994
MARRA F., AZZARA R., BELLUCCI F., CASERTA A., CULTRERA G., MELE G., PALOMBO B., ROVELLI A., AND BOSCHI E. (in press) – Large amplification of ground motion at rock sites within a fault zone in Nocera Umbra (Central Italy).
NAKAMURA, Y., 1989: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. *Quarterly Rept. RTRI. Jpn.* 30, 25-33.
TOKIMATSU K., 1995: Geotechnical site characterization using surface waves; First international conference on earthquake geotechnical engineering. - IS-TOKYO '95.

H/V [Nakamura, 1989] $\Rightarrow S_M(\omega) = \frac{H_s(\omega)}{V_s(\omega)}$ ³, presupponendo un probabile contrasto di rigidità sismica tra i terreni costituenti il substrato.

3.2 -Acquisizione ed elaborazione dati

Al fine di applicare la tecnica dei rapporti spettrali H/V, è necessario campionare i microtremori registrando le tre componenti del moto del suolo. Specificatamente è stato utilizzato un trasduttore del moto del suolo 3D, avente periodo fondamentale di 1 s., interfacciato ad un sistema di conversione analogico – digitale.

Le caratteristiche tecniche del sistema sopra descritto sono:

- ✓ capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00005 sec;
- ✓ sistema di comunicazione e di trasmissione del “tempo zero” (time break)
- ✓ filtri High Pass e Band Reject
- ✓ “Automatic Gain Control”
- ✓ convertitore A/D a 24 bit
- ✓ n.1 geofono 3D periodo 1 Hz.

Per il sito in esame è stata registrata una serie temporale della durata di 30 min. Tale segnale è stato suddiviso in finestre temporali di 40.96 sec, selezionando quelle il cui rapporto STA/LTA non supera le 2 unità. Nella figura seguente sono riportati i criteri che hanno consentito la scelta delle serie temporali da elaborare.

Parameter	Value
Window length for the short term (sta) in sec:	1.0
Window length for the long term (lta) in sec:	25.0
Minimum level for sta/lta threshold:	0.5
Maximum level for sta/lta threshold:	2.0
Window length for selected windows in sec:	40
Overlap percentage for selected windows:	10.0
Tolerance level for bad points (sec):	0.0

Figura 9 – Parametri per la selezione delle finestre temporali

³ $H_s(\omega)$ spettro della risultante orizzontale del moto del suolo; $V_s(\omega)$ spettro della componente verticale del moto del suolo

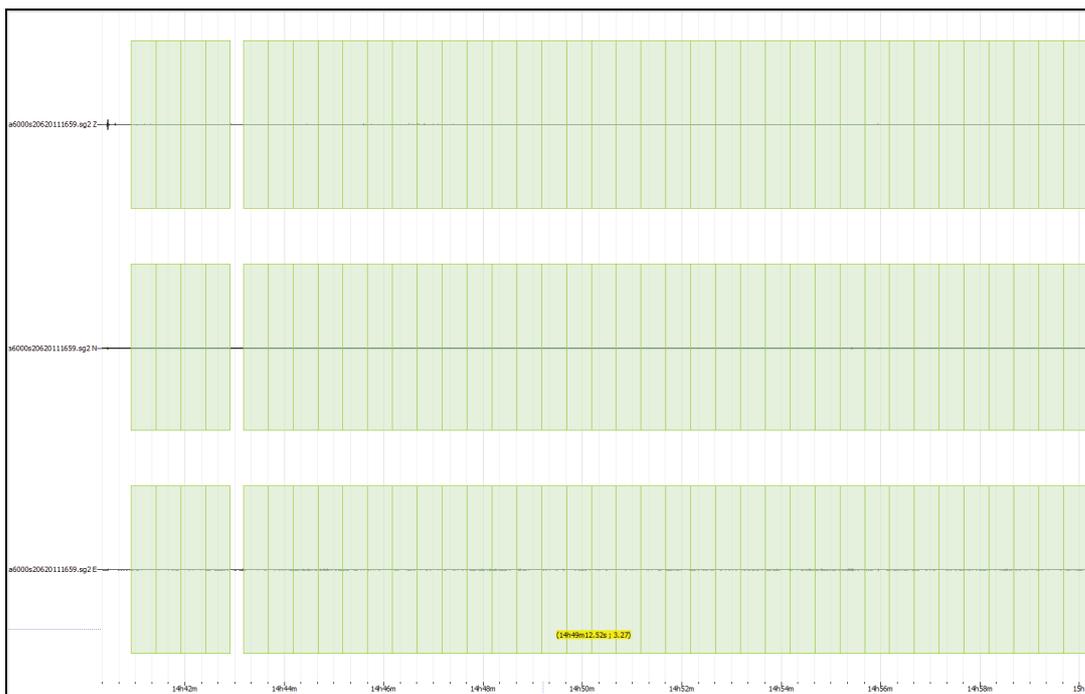


Figura 10 – Finestre temporali selezionate sulla base dei parametri di fig. 1.

Le finestre temporali selezionate sono state processate nel seguente modo:

1. applicazione di una funzione “base - line” al fine di eliminare off - set e trend anomali;
2. applicazione di una funzione “cosine-taper (5%) ” per evitare l’insorgenza di effetti di bordo;
3. applicazione di filtro a banda passante tra 0.5 e 25 Hz;
4. per ciascuna finestra temporale è stata applicata una “smoothing function” del tipo Konno-ohmachi con una bandwidth = 30;
5. calcolo degli spettri dei microtremori relativi ad ogni finestra temporale tramite il comune algoritmo della Fast Fourier Transform (FFT);
6. calcolo dei rapporti spettrali (media geometrica \pm 1 s.d) H/V;

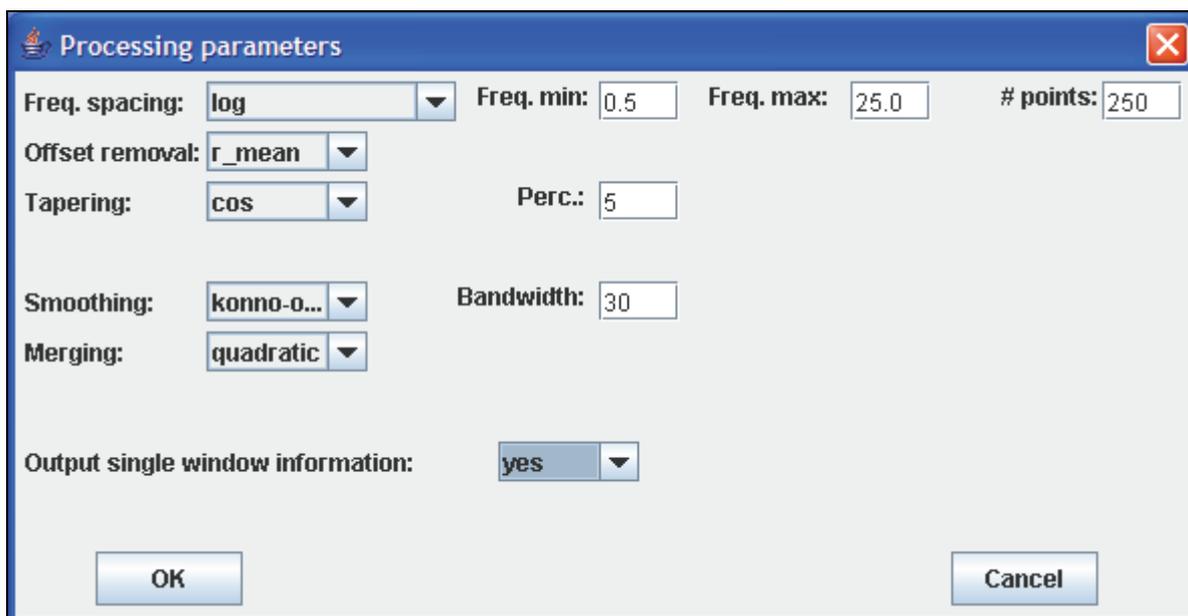


Figura 11 – Parametri utilizzati per il calcolo dei rapporti H/V

3.1 CRITERI PER LA INTERPRETAZIONE DELLA CURVA H/V E RISULTATI

Di seguito sono riportati i criteri utilizzati per definire la per l'interpretazione della curva H/V. Tali criteri riguardano la validità sia della curva H/V sia della frequenza di picco. In particolare per quanto riguarda la validità della curva H/V devono essere rispettati tutti i requisiti, mentre per la frequenza di picco occorre che siano soddisfatti cinque criteri su sei.

CRITERI PER LA VALIDITA' CURVA H/V	CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEL PICCO H/V
1. $f_0 > \frac{10}{l_w}$	1. $\exists f^- \in \left[\frac{f_0}{4}, f_0 \right] \mid A_{\frac{H}{V}}(f^-) < \frac{A_0}{2}$
2. $n_c(f_0) > 200$	2. $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{\frac{H}{V}}(f^+) < \frac{A_0}{2}$
	3. $A_0 > 2$
3. $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	4. $f_{\text{picco}} \left[A_{\frac{H}{V}}(f) \pm \sigma_A(f) \right] = f_0 \pm 5\%$
oppure	5. $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	6. $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

-	l_w = lunghezza della finestra temporale
-	n_w = numero di finestre temporali selezionate per il calcolo della curva media H/V
-	$n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ numero significativo di cicli
-	f = frequenza (Hz)
-	f_0 = frequenza del picco H/V
-	σ_f = standard deviation della frequenza del picco H/V ($f_0 \pm \sigma_f$)
-	$\varepsilon(f_0)$ = soglia di stabilità per le condizioni $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
-	A_0 = Ampiezza del picco H/V alla frequenza f_0
-	$A_{H/V}(f)$ = Ampiezza della curva H/V alla frequenza f
-	f^- = frequenza tra $f_0/4$ e f_0 per la quale $A_{H/V}(f) < A_0/2$
-	f^+ = frequenza tra f_0 e $4f_0$ per la quale $A_{H/V}(f) < A_0/2$
-	$\sigma_A(f)$ = standard deviation di $A_{H/V}(f)$, dove $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva media $A_{H/V}$ va divisa e moltiplicata
-	$\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation di $\log A_{H/V}(f)$, dove $\sigma_{\log H/V}(f)$ è il valore assoluto per il quale la curva media H/V va sommata o sottratta.
-	$\theta(f_0)$ = valore soglia per le condizioni di stabilità $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$
valori soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$	
Banda di frequenza [Hz]	< 0.2 0.2 – 0.5 0.5 – 1.0 1.0 – 2.0 > 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0 0.20 f_0 0.15 f_0 0.10 f_0 0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0 2.5 2.0 1.78 1.58
Log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48 0.40 0.30 0.25 0.20

Tabella 2 - riepilogativa dei criteri di validità delle curve H/V e dei picchi di frequenza.

La curva H/V calcolata secondo quanto descritto in precedenza è rappresentativa del sito investigato perché sono soddisfatti tutti i criteri relativi al numero significativo dei cicli. La curva H/V non presenta alcuna frequenza amplificata.

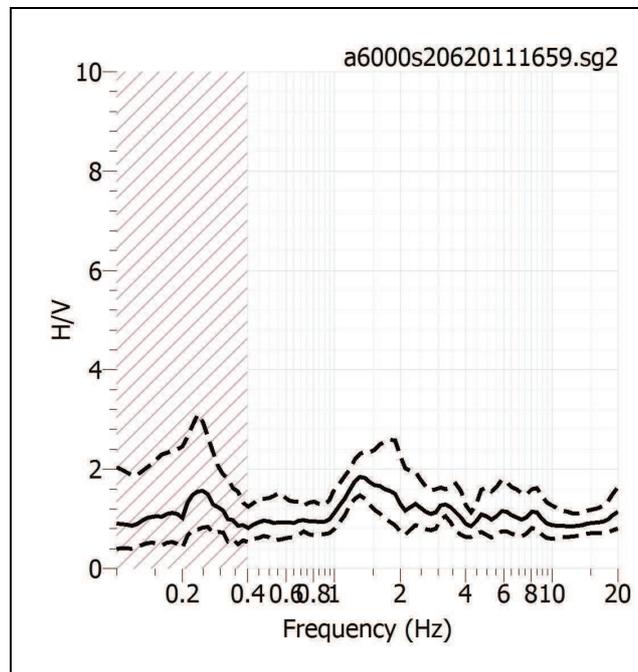


Figura 12 –Rapporti spettrali H/V

Caratteristiche della Curva H/V			Caratteristiche della frequenza di picco			
Lunghezza serie temporale l_w (sec)	Numero di serie temporali n_w	Numero significativo di cicli	f_0 (Hz)	σ_f	A_0	$\sigma_A(f_0)$
/	/	/	/	/	/	/

Tabella. 3 – Parametri spettrali delle curve H/V

4.0 CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha avuto come scopo quello della definizione della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio per definire la categoria di appartenenza del suolo secondo la normativa sismica vigente e le principali proprietà elastiche dei terreni investigati.

I principali risultati possono così essere sintetizzati:

- La curva di dispersione combinata ha permesso di investigare fino alla profondità di 33.6 m.
- Il modello di velocità del sito risulta:

Sismostrato	Profondità (m)	V _s (m/s)
1	.00	904.02
2	4.80	952.39
3	12.00	932.36
4	21.60	930.51
5	33.60	1200.74

- ✓ Il valore del **VS30** risulta: 931.87 m/sec
- ✓ La curva H/V non presenta amplificazioni..